基于深度学习的旋转机械故障诊断方法研究

摘要

在工业生产过程中,为保障机械设备长期安全可靠运行、系统安全生产,需要对机械系统中的关键部件进行健康监测以及故障诊断,以便及时发现其存在的安全隐患,从而提出相应的维修策略来防止严重的生产事故发生。高速发展的工业生产活动更要求机械故障诊断技术能够快速且准确识别设备状态以及故障类型,因此,高效可靠的机械故障诊断方法研究具有重要意义。机械故障诊断方法的关键环节在于故障特征提取,所提取特征的质量对最终的故障诊断结果具有重要影响。传统的故障诊断方法通常采用人工特征提取,需要操作人员具有一定专业的背景知识来实现准确的故障相关特征提取。随着人工智能技术的不断发展,基于深度学习的智能诊断技术开始不断应用于机械故障诊断中,通过深度学习模型从大数据中自动学习有助于准确分类的故障特征信息,减少人工参与的影响,可以提高系统效率以及故障识别准确率。

针对现有传统的基于特征提取以及基于机器学习的旋转机械故障诊断模型的不足,本文以旋转机械为研究对象,以深度学习技术为理论基础,分别从深度网络模型的适用性与稳定性、多传感器信息融合的多故障分类、故障诊断模型特征学习能力与诊断识别率提升以及对小样本数据的特征学习与建模几个方面进行研究,并通过多个旋转机械实验平台进行实际应用的验证。本文的主要研究重点为以下四个方面:

(1)针对于传统故障诊断方法依赖人工特提取而造成的故障诊断效果不确定性问题,提出基深度置信网络的特征学习模型,以深度学习技术的基础模型探究其在旋转机械故障诊断应用中的适用性,利用深度置信网络的特征学习能力,从原始传感器信号中自动地学习有助于聚类分类的特征信息,将特征提取与分类任务结合在一个网络结构里,通过最终分类效果逐步调整网络模型的特征学习过程,使得机械故障诊断更加智能化,减少人工参与造成的影响;同时提出基于频率谱的改进深度置信网络模型,其具有更快的模型收敛速度以及更高的分类准确率,且对模型深度以及隐层维度有一定的鲁棒性,通过感应电机实验平台验证该系统的有效性。

(2)针对于单一传感器信号的特征空间有限性,为实现准确的旋转机械故障诊断,提出基于时频分布图像的多传感器信息融合故障诊断模型,利甩卷积神经网络的局部特征提取能力捅捉传感器信号的时频图像特征,学习基于时频图像的故障模式从而实现准确的故障识别,同时,基于多传感器信息融合的深度卷积网络能够提高故障诊断模型的分类准确度和网络模型稳定性,高层特征融合模型可以独立地从不同类型的传感器信息中进行特征学习,最大程度地将不同类型传感器信息中的有用特征保存下来并将学习到的高层抽象信息进行融合,并在感应电机实验平台和动力传动动态模拟实验平台上进行了实验验证。

(3)针对于目前基于深度网络的故障诊断方法存在的模型深度有限、特征学习能力不足以及模型训练难等问题,研究并设计了一种基于预训练网络的移学习故障诊断模型,实现大型深度卷积神经网络模型在旋转机械故障诊断领域中的应用,给予故障诊断模型合理初始化,配合恰当的参数微调策略,不仅提高了机械故障识别准确率而且加快深层网络模型收敛速度,缩短了网络训练时间,从而大大提高故障诊断效率与传统基于特征的故障诊断模型相比,该方法减少了人工参与程度,提高了系统的智能性,与基于机器学习的故障诊断方法相比,其克服了需要太量有标签数据进行督式学习的要求,解决了网络难收敛、训练时间长等常见问题,具有更快的模型收敛速度以及更高的故障分类准确度;在多个实验平台上进行实验验证,包括感应电机实验平台、凯斯西储轴承实验平台和动力传动动态模拟实验平台。

(4)针对于旋转机械故障诊断领域数据样本有限的问题,为实现深度网络模型的有效训练,提出一种基于一维卷积网络的对抗生成网络模型用于小样本数据的旋转机械故障诊断任务,其可以从潜在空间中进行采样,生成与真实样本数据分布相似的生成样本,生成数据样本可以扩充小样本数据集,通过数据増强策略扩充类不平衡数据以提升最终的故障诊断模型性能。同时,以生成网络结构对真实数据分布进行建模学习,有助于对真实数据分布的理解。对抗生成网络含有生成器和判别器两个组成模块,以对抗式的学习方式进行模型训练,有助于生成器合成更为真实的数据样本。基于类别信息的辅助分类生成对抗网络在生成器和判别器部分都使用类别标签进行辅助训练,可以帮助对抗生成网络的稳定训练,并且能够生成高质量的数据样本;感应电机实验平台验证了该方法的有效性。

关键词:旋转机械;故障诊断;深度学习;深度置信网;卷积神经网络;预训练网络;迁移学习;对抗生成网络;数据增强